

УДК 519.853.6+620.179.147+621.317

Гальченко В.Я., докт. техн. наук, професор
v.halchenko@chdtu.edu.ua

Трембовецька Р.В., докт. техн. наук, професор
r.trembovetska@chdtu.edu.ua

Тичков В.В., канд. техн. наук, доцент
Черкаський державний технологічний університет, v.tychkov@chdtu.edu.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ ТАГУЧІ КОНСТРУКЦІЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИХРОСТРУМОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Оптимізація конструкцій перетворювачів вихрострумових інформаційно-вимірювальних систем є актуальним напрямом підвищення точності, чутливості та надійності неруйнівного контролю матеріалів і виробів. Сучасні підходи до оптимізації включають використання математичного моделювання, застосування теорії планування експериментів. Метод оптимізації Тагучі дозволяє ефективно досліджувати вплив численних конструктивних і перешкоджаючих факторів на вихідний сигнал перетворювача, використовуючи ортогональні плани експериментів, що значно зменшує кількість необхідних дослідів порівняно з повним факторним аналізом. Це особливо важливо для складних інформаційно-вимірювальних систем, де параметри матеріалу (наприклад, магнітна проникність, електрична провідність) і геометрія котушки можуть суттєво впливати на чутливість і селективність перетворювача. Застосування методу Тагучі сприяє оптимізації конструкції з урахуванням мінімізації впливу неконтрольованих факторів і забезпечує стабільність роботи системи навіть за наявності шумових факторів. Таким чином, метод Тагучі є сучасним інструментом для підвищення ефективності проектування вихрострумових перетворювачів вимірювальних систем, що відповідає вимогам сучасної метрології та автоматизації контролю.

На прикладі вихрострумового товщиноміра проаналізовано фізичний процес вимірювання товщини, що дозволяє виділити наступні впливові фактори на вихідний сигнал перетворювача, серед яких є контрольовані (С), шумові (N) або неконтрольовані та сигнальні (S) (таблиця 1).

Таблиця 1 – Впливові фактори на вихідний сигнал перетворювача при вимірюванні товщини об'єкту контролю

Фактор	Тип фактору	Вид параметру
Внутрішній радіус котушки збудження	С	Конструктивні
Зовнішній радіус котушки збудження	С	
Радіус вимірювальної котушки	С	
Висота розташування вимірювальної котушки	С	
Відстань до верхнього краю котушки збудження	С	
Частота збудження	С	Режимні
Струм збудження	С	
Магнітна проникність	N	Шумові
Електрична провідність	N	
Зазор	N	
Товщина об'єкту контролю	S	Сигнальний

Надалі здійснювалася низка чисельних експериментів щодо визначення залежності вихідного сигналу перетворювача від впливових факторів. При цьому в кожному окремому досліді фактор, який аналізується, варіювався в певних заданих межах, а всі інші - залишалися незмінними, тобто фіксованими. Тобто визначалися актуальні грані змін впливових факторів.

Побудовано залежності вихідного сигналу вихрострумового товщиноміру при зміні конструктивних параметрів, таких як, зовнішнього та внутрішнього радіусів котушки збудження, висоти розташування вимірювальної котушки та її радіусу, зазору, відстані до верхнього краю котушки збудження, товщини об'єкту контролю; при зміні неконтрольованих факторів, зокрема магнітної проникності та електричної провідності. На завершення проведено дослідження зміни сигналу перетворювача до варіювання режимних параметрів котушки збудження: частоти та струму.

У дослідженні було проведено оптимізацію методом Тагучі накладних трансформаторних перетворювачів з прямокутними ортогональними котушками на прикладі вихрострумового товщиноміру. Це реалізовано поєднанням теорії планування експериментів з чисельним моделюванням процесів випробувань. Здійснено два види підтверджувальних чисельних експериментів, які показують, що віднайдена оптимальна конструкція перетворювача мінімізує вплив шумових факторів і забезпечує стабільність вихідного сигналу перетворювача.

Список посилань

1. Zhang D., Yu Y., Lai C., Tian G. Thickness measurement of multi-layer conductive coatings using multifrequency eddy current techniques. *Nondestructive Testing and Evaluation*, (2016). 31(3), 191-208. <https://doi.org/10.1080/10589759.2015.1081903>
2. Xia Z., Huang R., Chen Z., Yu K., Zhang Z., Salas-Avila J. R., Yin W. Eddy current measurement for planar structures, *Sensors*, 22(22) (2022), 8695. <https://doi.org/10.3390/s22228695>
3. Krishnaiah K., Shahabudeen P. *Applied design of experiments and Taguchi methods*. PHI Learning Pvt. Ltd. 2012.
4. Dehnad K. *Quality control, robust design, and the Taguchi method*. Springer Science & Business Media, (2012). 309. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1472-1>
5. Taguchi G., Chowdhury S., Wu Y. *Taguchi's quality engineering handbook*. Wiley-Interscience, (2004). 1696. <https://doi.org/10.1002/9780470258354>
6. Zhang S., Ida N. Calculation model for the induced voltage in rectangular coils above conductive plates. *Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics*, (2016). 30(1), 27-38. <https://doi.org/10.2298/FUEE1701027Z>.
7. Halchenko V. Ya., Trembovetska R.V., Tychkov V.V. Application of Taguchi Method in Design of Surface Eddy Current Probes for Diagnostics of Power Equipment, *Problemele energeticii regionale*, 2024, 64(4), 10-20. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2024.4-64.02>
8. Halchenko V., Trembovetska R., Tychkov V. Computer robust parameter design of surface eddy current probes. Developing software design of numerical experiments creating. In *Proceedings ITTAP'2024: 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems*, October 23–25, 2024, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland // *CEUR Workshop Proceedings*. - Published on CEUR-WS: 13-Jan-2025, 2025, 3896, 448-461. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14422408>